

フラクタル次元による粘土鉱物の構造に関する研究

鳥取大学 正員 藤村 尚
鳥取大学 田中 良典

1. はじめに

微細な土粒子からなる土の構造は顕微鏡を用いた場合でも、形状や構造が複雑なために評価することは難しく、3 次元的な評価方法は確立されていない。そこで本報告ではカオリナイト、ハロイサイト試料を用いて、鉛直方向の 2 箇所について走査型電子顕微鏡(SEM)で微視的観察を行った。得られたグレースケール画像及び白黒 2 値化画像から、粒子形状、粒子構造などについてフラクタル次元を用いて定量的に評価することを試みた。

2. フラクタル次元の算出方法^{1), 2)}

フラクタル次元の算出方法にはいくつかあるが、本研究ではボックスカウント法(粗視化の度合いを変える方法)を用いた。例えば平面上の点の分布のフラクタル次元を求めることを考えてみる。まず、平面を間隔 r の格子によって一辺が r の正方形に分割する。そして、その平面において少なくとも 1 つの点を含むような正方形の数を数え上げ、それを $N(r)$ とするのである。もしも r をいろいろ変えたときに、

$$N(r) \propto r^{-D}$$

となる関係を満たす場合には、これらの点の分布は D 次元的存在であるということになる。上式は

$$D = -\frac{\log(N(r))}{\log(r)}$$

となり、サイズ r と、サイズ r に対する個数 $N(r)$ の常用対数をグラフ上にプロットし、その近似曲線の傾きがフラクタル次元となる。

試料の観察にはそれぞれの試料と水を攪拌装置により一定時間攪拌させ静沈した後に試料を取り出し、乾燥し、試料の上端面と下端面の二箇所から切り出して、走査型電子顕微鏡に用いた。なお走査型電子顕微鏡の倍率は各試料共に 2 通りにしている。

3. グレースケール画像のフラクタル次元の解析方法

SEM によって得られた画像は 256 階調の輝度を持つグレースケール画像である。データの最小が 0(黒)、最大値が 255(白)で、1 バイトのバイナリ形式で格納されている。この輝度(白黒の度合を表すもの)が高ければ高いほど、すなわち白になるほどグレースケール画像平面に対して垂直方向では高さがあるということになる。それぞれの試料の SEM 画像にボックスカウント法を行い一辺の長さを変化させて、正方形でメッシュを描き、その各ボックスの中で四隅の輝度の値を調べ、輝度に差があればその差の絶対値を加算してゆく。ボックスのサイズと各サイズに対する輝度値の差の合計の対数をとってグラフ上にプロットし、最小二乗法で近似した直線の傾きの絶対値がフラクタル次元となる。

4. 白黒 2 値化画像のフラクタル次元の解析方法

先ほど述べたように SEM によって得られた画像は 256 階調の輝度を持つグレースケール画像である。この輝度を平面での高さを表していると仮定してしきい値を 15 刻みで 2 値化し、1 つのグレースケール画像を 18 個の画像に分割する。したがって、しきい値が低いほど粒子の断面は大きくなり、高いほど試料の断面が小さくなる。そのしきい値別画像にボックスカウント法を行う。グレースケール画像のボックスカウント法とは違い、2 値化画像では白が含まれているボックスをカウントしていきフラクタル次元を求める。

5. 結果および考察

図-1 はカオリナイトの SEM 画像、図-2 はカオリナイトの SEM 画像をしきい値を 75 とした場合の白黒 2 値化画像である。図-3 は各試料の上端面から取り出した供試体のグレースケール画像におけるフラクタル次元を表したもので、図-4 は各試料の上端面から取り出した供試体のしきい値別画像におけるフラクタル次元を表したものである。グレースケール画像によるフラクタル次元解析ではカオリナイトは 2.5426、ハロイサイトは 2.4631、となった。カオリナイトは結晶構造をなさない塊状の粒子や六角板状の粒子、ハロイサイトは短冊状、木片状の粒子であり、それぞれの粒子形状や結晶構造が、試料、観察箇所を変えることでグレースケール画像のフラクタル次元の違いとしてあらわれたと考えられる。2 値化画像のフラクタル次元は 2 次元的な断面を考えるため画像上で単一粒子が多く存在しているハロイサイトはカオリナイトに比べ複雑ではなくフラクタル次元は低い値となった。

6. まとめ

- 1) 2 試料のグレースケール画像、2 値化画像のフラクタル次元の値に差が見られる
- 2) 同一試料であれば走査型電子顕微鏡の倍率を変えてもグレースケール画像ならびに 2 値化画像のフラクタル次元は一致する
- 3) 供試体の観察箇所の違いでグレースケール画像のフラクタル次元の値に差は見られるが、2 値化画像のフラクタル次元の値に差は見られない

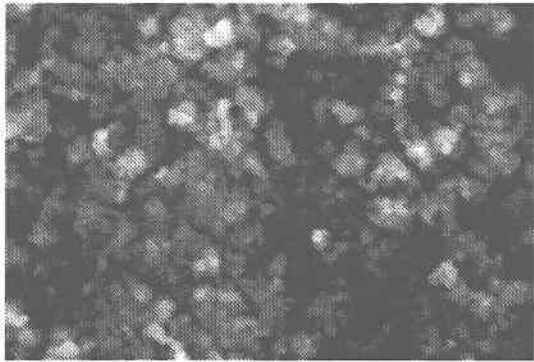


図-1 カオリナイトの SEM 画像

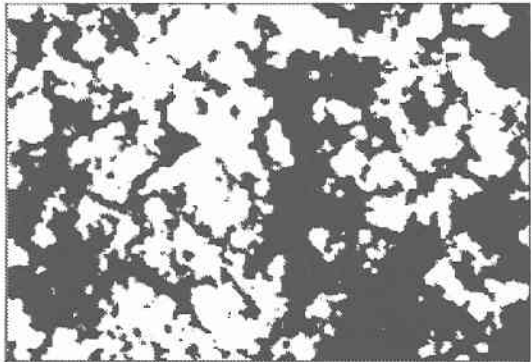


図-2 しきい値 75 の 2 値化画像

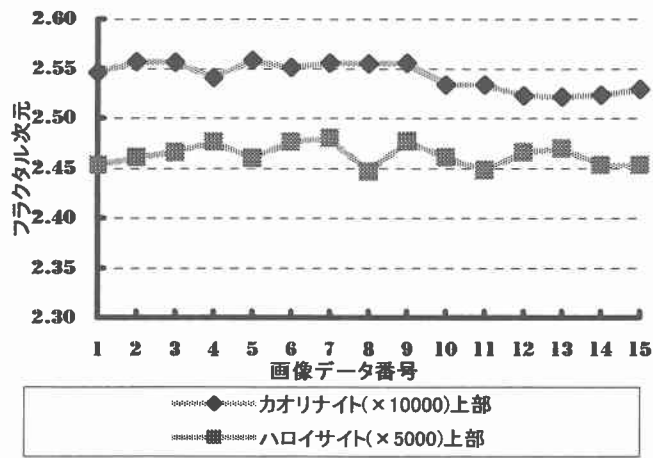


図-3 グレースケール画像のフラクタル次元

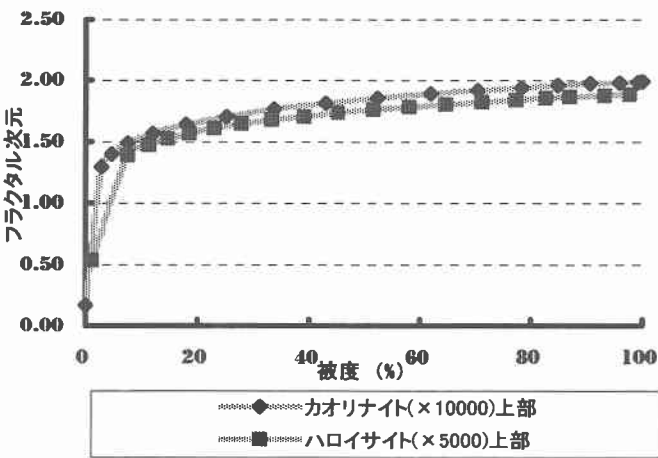


図-4 2 値化画像のフラクタル次元

参考文献

1)フラクタル：高安秀樹、朝倉書店 1986 2)フラクタル科学：高安秀樹、朝倉書店 1987